



TUGAS AKHIR – TM145502

**ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A
DENGAN METODE QUENCH-TEMPER PADA TEMPERATUR
TEMPERING 460 °C TERHADAP KEKRASAN DAN KEKUATAN
TARIK**

Istiqlal Sanatu Dzahab
NRP. 2113 030 077

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR
TM 145502 (MN)

**ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS
SUP 9A DENGAN METODE QUENCH-TEMPER PADA
TEMPERATUR TEMPERING 460 °C TERHADAP
KEKRASAN DAN KEKUATAN TARIK**

Istiqlal Sanatu Dzahab
NRP. 2113 030 077

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJCT
TM 145502 (MN)

**RECONDITION ANALYSIS OF SECONDHAND SUP 9A
LEAF SPRING STEEL FOR *QUENCH-TEMPER*
METHODS AT *TEMPERING* TEMPERATURE 460⁰C
FOR HARDNESS AND TENSILE STRENGTH**

Istiqlal Sanatu Dzahab
NRP. 2113 030 077

Counselor Lecturer
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

INDUSTRIAL MECHALNICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Vocation
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A DENGAN METODE QUENCH-TEMPER PADA TEMPERATUR TEMPERING 460 °C TERHADAP KEKRASAN DAN KEKUATAN TARIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ISTIQLAL SANATU DZAHAB
NRP. 2114 030 077

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Hari Subyanto, M.Sc
NRP. 000623 198803 1 002

SURABAYA, JULI 2017

ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A DENGAN METODE *QUENCH-TEMPER* PADA TEMPERATUR TEMPERING 460 °C TERHADAP KEKRASAN DAN KEKUATAN TARIK

Nama Mahasiswa : Istiqlal sanatu dzahab
NRP : 2114 030 077
Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstrak

Perkembangan industri otomotif sekarang ini sangat mengutamakan kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Salah satu faktor yang berperan dalam kenyamanan dan keamanan berkendara adalah pegas. Pegas adalah suatu komponen yang memiliki fungsi menerima beban.ada banyak macam-macam pegas salah satunya adalah pegas daun. Pegas daun yang telah digunakan akan mengalami penurunan kualitas sifat mekanik. Dikarenakan oleh beban yang diterima atau terjadi pada pegas daun tersebut.oleh karena itu perlu diadakan rekondisi untuk mengembalikan sifat mekanik pada bajapegas daun bekas.

Metodologi pada penelitian ini meliputi uji laku panas yang memanaskan baja pegas daun sampai temperatur 850°C ditahan selama 60 menit, lalu dilakukan proses quenching dengan media pendingin air sebanyak 20 liter yang disertai dengan agitasi. Kemudian dilakukan proses tempering dengan suhu 460°C ditahan selama 90 menit dan didinginkan dengan media udara. Hasil dari proses perlakuan panas ini akan dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian tarik.

Dari hasil penelitian didapat bahwa proses rekondisi dengan quench-temper dapat mengembalikan kekerasan sebesar 43.6 HRC. Sehingga sesuai dengan standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984 sebesar 39,1-45,7 HRC. Akan tetapi tidak dapat

mengembalikan sifat mekanik, yang mendapat kekuatan luluh 909.09 MPa dan kekuatan tarik 1030.15 MPa. Seharusnya pada standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984 kekuatan luluh 1079 MPa dan kekuatan tarik 1226 MPa. Baja rekondisi menjadi lebih mudah terdeformasi plastis dibanding pegas baru. Proses rekondisi tidak dapat mengembalikan sifat mekanik seutuhnya.

Kata kunci : Rekondisi, Pegas Daun, Quenching, Tempering, pengujian kekerasan, pengujian tarik, sifat mekanik

RECONDITION ANALYSIS OF SECONDHAND SUP 9A LEAF SPRING STEEL FOR QUENCH-TEMPER METHODS AT TEMPERING TEMPERATURE 460 °C FOR HARDNESS AND TENSILE STRENGTH

Student Name : Istiqlal sanatu dzahab
NRP : 2114 030 077
Departement : Industrial Mechanical Engineering
Conselour Lecturer : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstrak

The development of the automotive industry is now highly prioritizing comfort and safety in driving. One of the factors that important in the comfort and safety of driving is the spring. Spring is a component that has a load-receiving function. There are many kinds of spring one of them is leaf spring. Leaf springs that have been used will decrease the quality of mechanical properties. Due to the loads received or occurring on the leaf spring, it is necessary to recondition to restore the mechanical properties of the used leaf springs.

The methodology of this research consisted of heat treatment test which heated leaf spring steel until temperature 850 ° C was held for 60 minutes, then quenching process with 20 liters of water cooling medium accompanied with agitation. The tempering process was then carried out with a temperature of 460 ° C. retained for 90 minutes and cooled with air medium. The result of this heat treatment process will be tested hardness and tensile testing.

From the results of the research it is found that the reconditioning process with quench-temperature can return hardness of 43.6 HRC. So in accordance with the standard SUP 9A on JIS G 4801-1984 for 39.1 to 45.7 HRC. However, it can not restore mechanical properties, which yields 909,09 MPa and 1030,15 MPa tensile strength. Supposedly on the SUP 9A standard on JIS G 4801-1984 the yield strength of 1079 MPa and

the tensile strength of 1226 MPa. Reconditioning steels become more easily deformed than new springs. The recondition process can not restore the full mechanical properties.

Keywords : Reconditioni, leaf spring , Quenching, Tempering, hardness test, tensile test , mechanical properties.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat ALLAH SWT karena atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis mampu menyelesaikan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan pada departemen teknik mesin industri, fakultas vokasi, ITS-Surabaya.

Tugas akhir ini berjudul : **“ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A DENGAN METODE QUENCH-TEMPER PADA TEMPERATUR TEMPERING 460 °C TERHADAP KEKRASAN DAN KEKUATAN TARIK”**

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
2. Bapak Dr.Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri yang selalu memberikan bantuan dan motivasi.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator TA Departemen Teknik Mesin Industri.
4. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen wali yang selalu sabar dalam memberikan pengarahan disetiap perwalian.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah

memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Teman-teman seangkatan D3mits 2014.
8. Radhika Anggara, Miftaqul Hudha, dan Adams Prananta selaku partner tugas akhir.
9. Teman-teman dari Laboratorium Metalurgi yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat yang selalu menghibur dikala suka dan duka.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metode Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Pegas daun	5
2.2 Definisi Pegas	6
2.3 Material Pegas	6
2.3.1 Karakteristik material Pegas	6
2.3.2 Sifat Material Pegas Daun	7
2.3.3 Kegagalan Baja Pegas	8
2.4 Patah Getas dan Patah Ulet	10
2.5 Mekanisme <i>fatigue fracture</i>	11
2.5.1 Tahap Retak Awal (<i>Crack Initiation</i>).....	11
2.5.2 Tahap Perambatan Retak (<i>Crack Propagation</i>).....	12
2.6 Strain Hardening	13
2.7 Proses Laku Panas(<i>Heat Treatment</i>)	14
2.7.1 Laku Panas Kondisi Setimbang.....	15
2.7.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang	15
2.7.3 <i>Quenching</i>	16
2.7.4 <i>Tempering</i>	18

2.8 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik	
Baja Pegas.....	20
2.9 Uji Kekerasan	20
2.10 Uji tarik	21
2.10.1 Istilah lain tentang interpretasi hasil uji tarik	23
2.10.2. Detail profil uji traik dan sifat mekanik logam ..	24
2.10.3 Tegangan Luluh Peubahan Elastis dan Plastis	
.....	26
BAB III METODOLOGI.....	27
3.1 Flowchart Penelitian.....	27
3.2 Studi Literatur.....	28
3.3 Material Benda Uji	28
3.4 Proses <i>Quenching</i>	29
3.5 Proses <i>Tempering</i>	31
3.6 Uji Kekerasan	34
3.7 Uji Tarik	35
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Analisa dan Pembahasan	37
4.2 Uji Kekerasan	37
4.2.1 Pengaruh Proses <i>Quench-Temper</i>	
Pada Kekerasan Baja Pegas Daun	38
4.3 Uji Tarik	39
4.3.1 Pengujian Tarik Pegas Daun Baru	39
4.3.2 Pengujian Tarik Pegas Daun bekas	42
4.3.3 Pengujian Tarik Pegas Daun	
Bekas sesudah Rekondisi	44
4.3.4 Pengaruh Proses Rekondisi	
Pada Pengujian Tarik.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pegas Daun	5
Gambar 2.2 kondisi pembebanan pegas	6
Gambar 2.3 Model Wood Untuk Pengintian Retak.....	11
Gambar 2.4 Mekanisme Penumpulan Ujung Retakan Secara Plastis.....	13
Gambar 2.5 Skema Diagram Tegangan Regangan Loading dan Unloading	13
Gambar 2.6 Diagram Tegangan Regangan <i>Strain Hardening</i>	14
Gambar 2.7 Daerah Temperatur Laku Panas	15
Gambar 2.8 Kurva Pendinginan Pada Baja	17
Gambar 2.9 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0.56% - 0.64%	18
Gambar 2.10 grafik pengaruh temperature tempering pada baja	19
Gambar 2.11 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	21
Gambar 2.12 Kurva Tegangan-Regangan	22
Gambar 2.13 Contoh Data Hasil Uji Tarik.....	26
Gambar 2.14 Kurva Tegangan Luluh.....	26
Gambar 3.1 flowchart penelitian	27
Gambar 3.2 spesimen pegas daun	28
Gambar 3.3 dimensi spesimen awal	28
Gambar 3.4 dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201 14b	29
Gambar 3.5 Oven dalam temperatu 850 °C	30
Gambar 3.6 Oven uji laku panas	30
Gambar 3.7 Media Pendingin.....	30
Gambar 3.8 Skema proses <i>quenching</i>	31
Gambar 3.9 Pemasukan Spesimen ke Dalam Oven	31
Gambar 3.10 Proses Tempering dengan Temperatur 460 °C....	32
Gambar 3.11 Skema Proses <i>Tempering</i>	33
Gambar 3.12 Pengambilan Spesimen dari Oven	33
Gambar 3.13 pendinginan udara setelah Proses <i>Tempering</i>	34
Gambar 3.14 letak titik indentasi	34

Gambar 3.15 alat uji kekerasan	35
Gambar 3.14 Spesimen Tarik	36
(a) Sebelum Proses Quench-Temper	
(b) Spesimen Uji Tarik Setelah Proses Quench-Temper	
(c)Spesimen Uji Tarik Keadaan Baru	
Gambar 3. 15 Mesin uji tarik.....	36
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Rata-Rata Pada Pegas Daun.....	38
Gambar 4.2 Spesimen Hasil Uji Tarik Pegas Daun Baru.....	40
Gambar 4.3 Grafik <i>Tegangan-Regangan</i> Material Baja Pegas Daun Baru.....	41
Gambar 4.4 Spesimen Hasil Uji Tarik Baja pegas bekas.....	42
Gambar 4.5 Grafik <i>Tegangan-Regangan</i> Material Baja Pegas Daun bekas	43
Gambar 4.6 Spesimen Hasil Uji Tarik Pada Pegas Daun Rekondisi.....	44
Gambar 4.7 Grafik <i>Tegangan-Regangan</i> Material Baja Pegas Daun Rekondisi	45
Gambar 4.8 Grafik <i>Tegangan-Regangan</i> Rata-Rata Baja Pegas Daun	47
Gambar 4.9 Grafik <i>Modulus Resilience</i> Pada Baja Pegas	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja Pegas JIS G 4801-1984 (Mass%)	6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja Pegas Daun JIS G 4801-1984.....	7
Tabel 2.3 Kondisi Pembebanan Pada Baja Pegas	9
Tabel 2.4 Macam-macam penyebab kegagalan Pada baja pegas	10
Tabel 3.1 Data proses <i>Quenching</i>	29
Tabel 3.2 Data proses <i>tempering</i>	32
Tabel 3.3 Skema Proses <i>Tempering</i>	32
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekerasan Rata-Rata Pegas Daun	37
Tabel 4.2 Data Uji Tarik Pada Pegas Daun Baru	40
Tabel 4.3 Hasil Dari Pengujian Tarik Pegas Daun Baru	40
Tabel 4.4 Data uji tarik baja pegas bekas	42
Tabel 4.5 Hasil dari pengujian tarik pegas daun bekas	42
Tabel 4.6 Data Uji Tarik Pada Pegas Daun Rekondisi.....	44
Tabel 4.7 Hasil Dari Pengujian Tarik Baja Pegas Daun Rekondisi	45
Tabel 4.8 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Material Baja Pegas	46
Tabel 4.9 Data <i>Resilience</i> Pada Baja Pegas.....	48

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif sekarang ini sangat mengutamakan kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Hal tersebut mendorong berbagai industri otomotif bersaing untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Kenyamanan dan keamanan harus sangat diperhatikan hal tersebut dimaksudkan agar pengendara tersebut tidak mengalami hal-hal yang tidak diinginkan yang ditimbulkan saat berkendara. Salah satu faktor yang berperan dalam kenyamanan dan keamanan berkendara adalah pegas.

Pegas adalah suatu komponen yang memiliki fungsi menerima beban dinamis yang dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang baik dalam berkendara. Oleh karena itu, material pegas harus memiliki ketangguhan yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan pegas akan menerima kondisi pembebanan yang tinggi. Salah satu jenis pegas yang digunakan pada kendaraan adalah pegas daun.

Pegas daun yang telah digunakan akan mengalami penurunan kualitas sifat mekanik yang dikarenakan oleh beban dinamis yang diterima atau terjadi pada pegas daun tersebut. Hal ini menyebabkan pegas tidak nyaman untuk digunakan kembali. Melalui penelitian ini akan dilakukan proses rekondisi sebuah material bekas pegas daun, dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah rekomendasi untuk meningkatkan kekuatan pada pegas daun bekas. Untuk mengembalikan sifat mekanik pegas dapat dilakukan menggunakan proses perlakuan panas yang meliputi *quenching* dan *tempering* pada waktu penahanan (*holding time*) tertentu. Sifat mekanik dari proses tersebut akan dianalisa dengan menggunakan uji tarik dan uji kekerasan.

Melalui rekondisi material baja pegas bekas diharapkan mampu untuk meningkatkan kembali (ulang) kualitas pegas daun pada kendaraan bermotor, sehingga mampu menghemat biaya

dalam membeli suku cadang dan hemat dalam hal perawatan. Sifat mekanik material pegas bekas yang direkondisi diprediksi mampu untuk memenuhi kembali standar kelayakan awal sesuai standart SUP yang telah ada.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian singkat dan latar belakang, maka diperoleh perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses laku panas dengan metode *quenching* dan *tempering* terhadap sifat mekanik pada baja pegas daun bekas.
2. Apakah sifat mekanik hasil dari proses laku panas *quenching* dan *tempering* pada baja pegas daun bekas dapat mendekati sifat mekanik standar baja pegas daun baru sehingga dapat digunakan kembali.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada baja pegas daun bekas pada kendaraan bermotor roda empat, baja tersebut berupa lembaran plat yang sesuai dengan SUP. Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dari penelitian ini, maka batasan masalah yang diberikan adalah :

1. Spesimen berupa baja pegas daun bekas pada kendaraan bermotor roda empat dengan standart JIS SUP 9A.
2. Untuk keadaan pegas daun bekas diasumsikan homogen .
3. Pemanasan pada saat *quenching* dan *tempering* sempurna dan merata pada seluruh material yang diuji.
4. Waktu pemindahan spesimen dari oven ke media *quenching* adalah sama untuk semua spesimen.

1.4 Tujuan

Tujuan yang didapat dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh proses laku panas saat temperatur *tempering* yang telah ditentukan, terhadap kekuatan tarik dan kekerasan dari baja pegas daun.

2. Mengembalikan sifat mekanik pada baja pegas daun bekas kendaraan bermotor sesuai dengan standart spesifikasi baja pegas daun dengan proses rekondisi material.
3. Membandingkan antara baja pegas daun yang baru dengan baja pegas daun yang direkondisi (bekas).

1.5 Metode Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu : pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang definisi baja pegas (*spring steel*), material baja pegas, proses laku panas (*quenching* dan *tempering*), serta pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap baja pegas.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang data spesimen awal, metode pengujian yang digunakan, diagram alir dari prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB IV ANALISA DATA dan PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan data yang diperoleh dari percobaan atau pengujian yang dilakukan, yang meliputi hasil uji komposisi kimia, hasil uji tarik, dan hasil uji kekerasan serta analisa tentang hasil yang telah diperoleh selama percobaan dilakukan, pembahasan mengenai hubungan antara hasil percobaan dengan teori yang sudah ada, dan berbagai macam analisa penunjang lain yang diperlukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini dijelaskan tentang kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pegas Daun

Pegas daun adalah jenis *spring* yang paling sederhana konstruksinya dan kekuatannya dapat ditambah ataupun dikurangi. Pegas daun terdiri dari beberapa lembar *spring* yang diikat menjadi satu, sehingga dapat ditambah atau dikurangi. Semakin banyak jumlah lembar *spring*, semakin kuat daya lenturnya. Hal ini juga dipengaruhi oleh tebal, lebar, dan panjang *spring*. Pegas daun terbuat dari bahan *steel alloy*.

Pemasangan pegas daun terhadap *axle* dipengaruhi oleh jenis kendaraanya. Jika kendaraan ini direncanakan supaya lantainya rendah, maka pemasangan pegas daun ditempatkan pada bawah *axle*. Sebaliknya, jika diinginkan lantai kendaraan yang tinggi, maka pemasangan pegas daun ditempatkan pada bagian atas *axle*. Hal yang perlu diperhatikan pada pegas daun adalah jarak antara kedua *spring eye*.



Gambar 2.1 Pegas Daun [10]

2.2 Definisi Pegas

Tabel 2.1 Komposisi Baja Pegas JIS 4801 (Mass %) [10]

Grade	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	B	Composition system
SUP3	0.82	0.25	0.45	–	–	–	–	High carbon steel
SUP6	0.60	1.65	0.85	–	–	–	–	Si-Mn steel
SUP7	0.60	2.00	0.85	–	–	–	–	
SUP9	0.56	0.25	0.80	0.80	–	–	–	Mn-Cr steel
SUP9A	0.60	0.25	0.85	0.85	–	–	–	
SUP10	0.51	0.25	0.80	0.95	–	0.20	–	Cr-V steel
SUP11A	0.60	0.25	0.85	0.85	–	–	0.0005	Mn-Cr-B steel
SUP12	0.55	1.40	0.75	0.75	–	–	–	Si-Cr steel
SUP13	0.60	0.25	0.85	0.80	0.30	–	–	Cr-Mo steel

Baja dapat didefinisikan sebagai suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Di samping itu masih ada campuran lain yang ada di dalam baja yaitu sulfur (S), fosfor (P), silicon (Si), dan mangan (Mn) dengan kadar tertentu.

Pegas adalah baja dengan kandungan karbon tinggi yaitu 0,5 % - 1% yang di campur dengan Si, Mn, dan Cr sampai 1 % selanjutnya dengan Mo, V sampai 0,25 % dan dengan B yang jarang dilakukan sampai 0,0005%. Pegas merupakan komponen penahan beban yang baik terutama pada kendaraan bermotor.

Pegas merupakan salah satu komonen penting dalam kendaraan bermotor sehingga diperlukan baja dengan sifat mekanik tertentu agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai baja pegas.

2.3 Material Pegas

2.3.1 Karakteristik Material Pegas

Pertimbangan karakteristik dasar baja pegas adalah melalui pemilihan materialnya, yaitu sifat mekanik, sifat dinamik, *creep*, ketahanan terhadap korosi, sifat konduktifitas elektrik dan non-magnetik.

Table 2.2 Sifat mekanik baja pegas daun JIS G 4801-1984[10]

Steel grade	Heat treatment		Mechanical properties				
	Quench (C°)	Temper (C°)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	El. %	RA. %	Hardness HB
					JIS No. 4 or No. 7	JIS No. 4	
SUP3	830-860	450-500	≥ 834	≥ 1079	≥ 8	—	341-401
SUP6	830-860	480-540	≥ 1070	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP7	830-860	480-540	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9	830-860	460-510	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP10	840-870	470-640	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363-429
SUP11A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP12	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP13	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363-429

Dari Tabel 2.2 menjelaskan tentang spesifikasi sifat mekanik awal pada masing-masing grade baja pegas dan proses laku panas yang dilakukan berdasarkan standar JIS.

2.3.2 Sifat Material Pegas Daun

Pegas daun berfungsi sebagai lengan penyangga dan untuk meredam beban kejut, guncangan dan getaran yang diterima oleh kendaraan. Berikut ini adalah sifat yang harus dimiliki oleh pegas daun :

1. Kekuatan
Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.
2. Ketangguhan
Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

3. Ductile

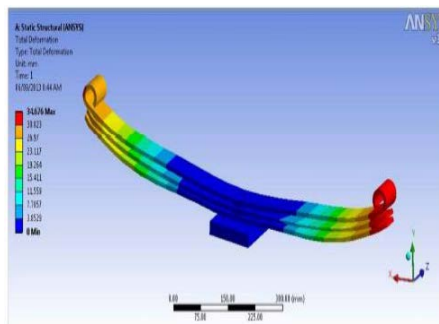
Material akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*). Bila sesuatu material terdeformasi secara *ductile*, menandakan bahwa *strain* terdistribusi secara merata.

4. Resilien

Kemampuan untuk menyerap energi (kerja) tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi plastik. Resilien adalah sifat penting bagi bagian-bagian yang harus menerima tegangan dan sekaligus juga regangan elastis yang besar, seperti misalnya pegas.

2.3.3 Kegagalan baja pegas

Baja pegas sangat berpengaruh pada keamanan dan kenyamanan saat berkendara. Pada hal ini baja pegas berperan sebagai penahan beban. Saat menahan beban baja pegas dapat mengalami kerusakan dan kegagalan. Kegagalan tersebut dikarenakan pembebanan yang terjadi dan intensitas pembebanannya. Biasanya pegas cenderung mengalami kegagalan pada kondisi pada saat pembebanan berulang-ulang walaupun beban yang diterima berada di bawah batas elastisitasnya.



Gambar 2.2 kondisi pembebanan pegas [4]

pada gambar 2.2 menunjukkan kondisi pegas saat terkena pembebanan. Pada bagian yang berwarna merah adalah bagian yang paling banyak menerima beban. Terkenanya pembebanan ini pegas daun dapat mengalami deformasi plastis, yang menyebabkan turunnya kualitas pegas.

Table 2.3 Kondisi pembebanan pada pegas. [10]

	Types of load	Figures to be acquainted	Properties required for material
Static load	A constant and invariable load	Load and deflection	High elastic limit
Repeated load	Constant loads repeatedly applied	Mean load Load amplitude Deflection Number of cycles	High fatigue strength
Impact load	A load applied abruptly at high speed	Impact force Deflection Number of cycles	High elastic limit High impact value
Load for measuring load	Accurate load being ensured for a wide range of deflection, like a spring balance	Spring constant Maximum load	High elastic limit High dimensional accuracy

Tabel 2.3 diatas menjelaskan tentang pembebanan yang terjadi pada baja pegas dan rekomendasi sifat material yang harus dimiliki oleh baja pegas. Adapun kerusakan yang dapat terjadi pada baja pegas saat menerima beban

Table 2.4 Macam-macam penyebab kegagalan pada baja pegas[10]

Fracture	<u>Fracture with repeated stresses</u>
	1. Fatigue with no corrosion
	2. Corrosion fatigue
	3. Fatigue from fretting corrosion or wear
	<u>Fracture with impact stress</u>
	1. Brittle fracture (Low temperature brittle fracture)
	2. Ductile fracture
	<u>Fracture with static stress</u>
	1. Stress corrosion cracking
	2. Delayed fracture (Hydrogen embrittlement fracture)
Deformation (Permanent set)	1. Yielding, plastic deformation (due to over stressing)
	2. Static creep
	3. Dynamic creep
	4. Stress relaxation
Decrease of cross-sectional dimensions	1. Wear
	2. Fretting
	3. General corrosion
	4. Local corrosion
	5. Erosion

Pada tabel 2.4 diatas menjelaskan bahwa kegagalan yang sering terjadi pada baja pegas dan macam macam klasifikasinya

2.4 Patah Getas dan Patah Ulet

Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperature yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material.Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi.Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas.Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan.Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan small cavity diujungretak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap.Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat.

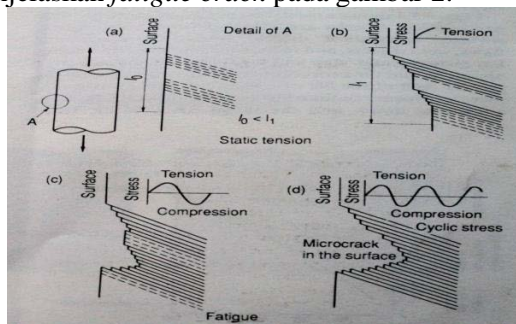
Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.

2.5 Mekanisme *fatigue fracture*

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjalaran retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*).

2.5.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood. Beberapa model diberikan dalam menjelaskan *fatigue crack* pada gambar 2.



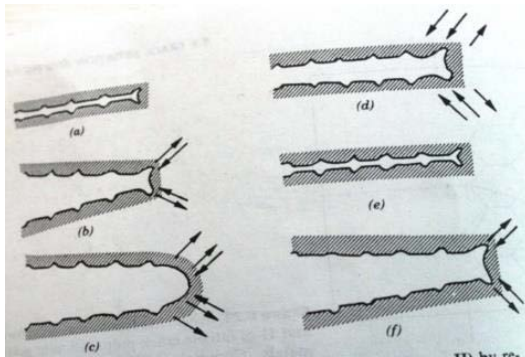
Gambar 2.3 Model Wood untuk pengintian retak[8]

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

2.5.2 Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

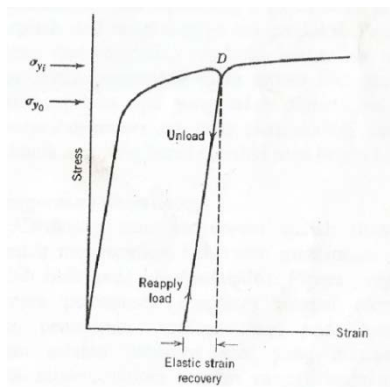
Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2.4 Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis
 (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d)
 beban-tekan maksimum (e) beban nol (f) beban tekan
 minimum[8]

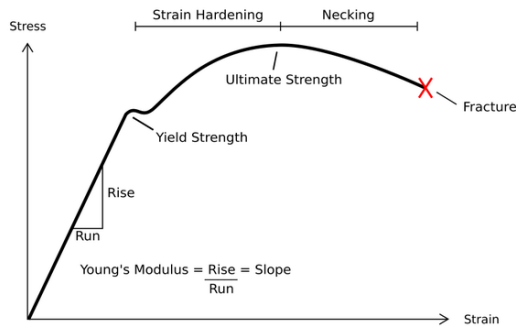
2.6 Strain Hardening

Strain hardening adalah fenomena dimana material yang ulet menjadi lebih keras dan kuat diakibatkan oleh deformasi plastic. Biasanya disebut dengan *work hardening*, karena temperatur pada saat terjadi deformasi berada pada temperatur ruangan atau dapat dikatakan pengerjaan dingin.



Gambar 2.5 Skema Diagram Tegangan Regangan
 Loading dan Unloading[8]

Gambar 2.7 menunjukkan terjadinya fenomena *strain hardening* yang diakibatkan oleh beban berulang. Pada awalnya logam dengan *yield strength* awal σ_{y1} . Logam tersebut menjadi lebih kuat dan lebih keras karena terjadi peningkatan *yield strength*.



Gambar 2.6 diagram tegangan-regangan strain hardening[10]

Diagram diatas menunjukkan jika suatu material terkena deformasi plastic dan mengalami perpanjangan diatas yield akan mengalami strain hardening. Strain hardening terjadi diantara batas *yield strength* dengan batas *ultimate strength* baja.

2.7 Proses Laku Panas (*Heat Treatment*)

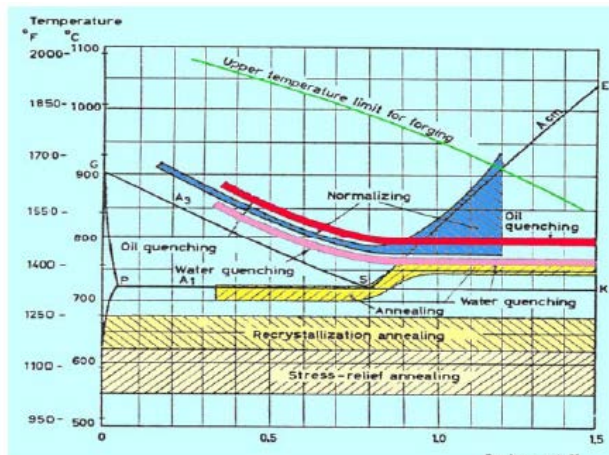
Proses laku panas adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu.

Baja adalah paduan yang banyak diproduksi atau digunakan dan juga paling sering diberikan laku panas dalam proses produksinya. Proses laku panas pada baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau dekomposisi austenit inilah yang akan menentukan sifat fisik dan mekanik baja yang mengalami proses laku panas.

Proses laku panas (*heat treatment*) secara keseluruhan dapat dibedakan menurut tingginya temperatur pemanasan, lamanya temperatur penahanan (*holding time*), dan laju pendinginannya. Proses laku panas dibedakan menjadi dua proses, yaitu proses laku panas *equilibrium* (seperti *annealing*, *normalizing*, *spheroidizing* dan lain-lain) dan proses laku panas *non-equilibrium* (seperti *quenching*).

2.7.1 Laku Panas Kondisi Setimbang

Laku panas adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan pada logam/paduan untuk memperoleh sifat tertentu. Salah satu dari laku panas tersebut dilakukan dengan kondisi setimbang.



Gambar 2.7 Daerah Temperatur Laku Panas[7]

2.7.2 Proses Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang

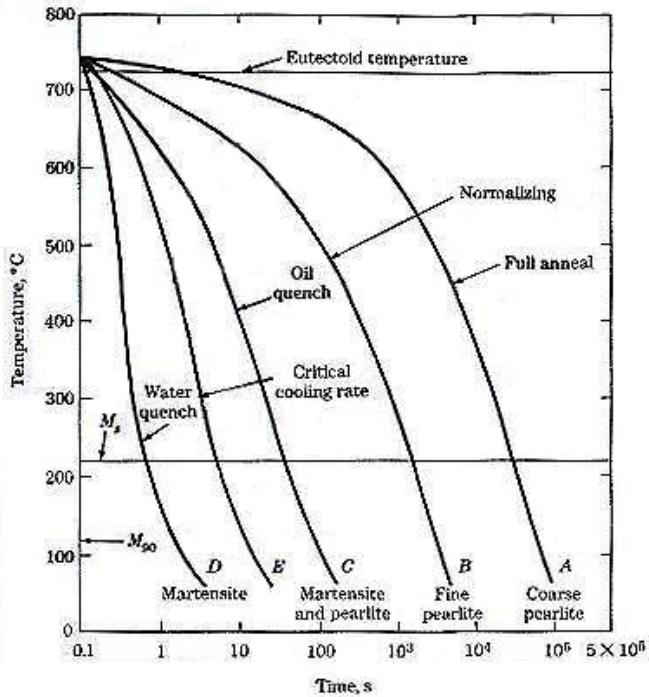
Tujuan umum dari perlakuan panas jenis kondisi tidak setimbang (Non Equilibrium) ini adalah untuk

mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas Non Equilibrium, misalnya *Hardening, Martempering, Austempering, Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Cyaniding, Flame hardening, Induction hardening)*.

Proses laku panas pada keadaan tidak setimbang ini dilakukan dengan cara memberikan pendinginan cepat pada logam yang sudah dipanaskan sehingga tidak ada kesempatan bagi material yang sudah dipanaskan untuk mencapai kondisi yang setimbang karena waktu dibutuhkan untuk transformasi atau dekomposisi tidak cukup.

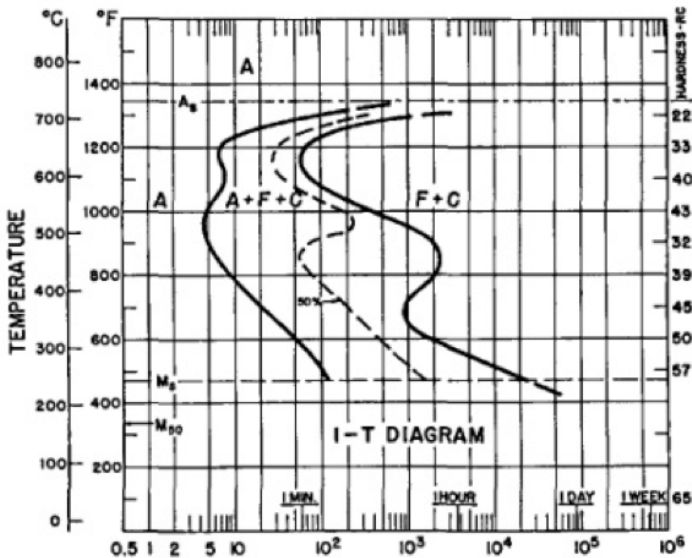
2.7.3 Quenching

Quenching adalah system pendinginan produk baja secara cepat dengan pencelupan serta perendaman produk yang masih panas kedalam media air atau oli. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase martensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.



Gambar 2.8 Kurva Pendinginan yang terjadi pada baja[7]

Diagram ini menunjukkan bahwa perbandingan kemampuan pendinginan dari berbagai media pendingin tersebut terhadap suatu spesimen dari baja.



Gambar 2.9 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56% - 0,64%[7]

Dalam proses quenching selain memperhatikan media pendingin, yang harus diperhatikan adalah volume dari media pendingin tersebut. Jika volume media pendingin kecil atau sedikit, maka proses pendinginan kurang maksimal. Struktur martensit dapat diperoleh jika laju pendinginan dapat mencapai critical cooling rate (CCR). Diagram transformasi isothermal pada gambar 2.8 menunjukkan dimulainya transformasi austenit sampai menjadi martensit.

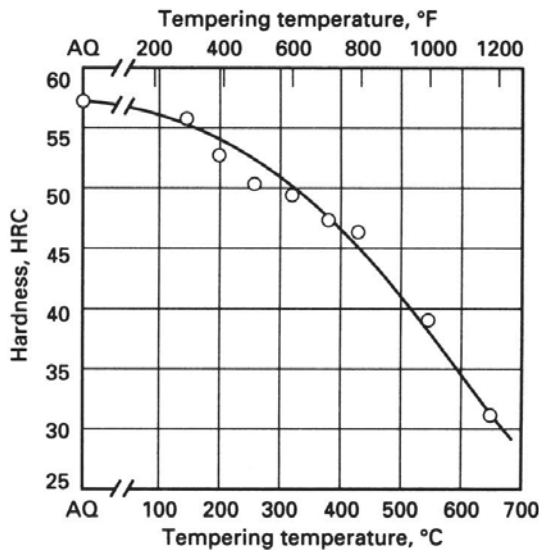
2.7.4 Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan *martensite*, pada kondisi setelah proses *quenching* biasanya masih sangat getas, sehingga baja tidak cukup baik untuk digunakan. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan

tegangan sisa yang sangat tinggi. Karena hal tersebut setelah proses pengerasan (*hardening*) selalu diikuti dengan proses pemanasan kembali (*tempering*).

Tempering dilakukan dengan cara memanaskankembali baja yang sudah dilakukan proses *quenching* pada temperatur dibawah temperatur kritis bawah, lalu membiarkannya beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan kembali. Secara umum dapat dikatakan jika temperatur *tempering* makin tinggi, maka kekerasan yang diakibatkan akan semakin rendah, sedangkan ketangguhannya akan semakin meningkat.

Sigit Gunawan (2005) menyatakan korelasi antara pengaruh suhutemper terhadap ketangguhan impak dan kekuatan tarik baja AISI420 dimana ketangguhan impak cenderung naik seiring dengannaiknya temperature temper, sebaliknya kekuatan tarik cenderungmenurun dengan kenaikan temperatur temper. Sejalan denganpenelitian oleh Hasta Kuntara (2005) dengan baja X165CrMoV12 untuk bahan cetakan.



Gambar 2.10 grafik pengaruh temperature tempering pada baja[7]

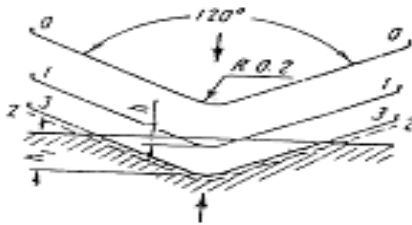
2.8 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Baja Pegas

Sebagai petunjuk pertama dalam pemilihan baja pegas yang dipakai sebagai bahan konstruksi otomotif maupun perancangan adalah kekuatan dan keuletan yang memadai. Satu dari sekian sifat baja yang paling penting adalah kekuatan, tetapi pada umumnya bila kekuatan baja dinaikkan, maka dampaknya adalah keuletannya cenderung menurun, maka kekuatan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan karena beban kejut (benturan). Untuk mendapatkan kekuatan yang cukup dan keuletan yang baik pada pegas, maka dilakukan pengerasan celup (*quenching*) dan pemanasan ulang (*tempering*).

Karena karakteristik dari *martensite* adalah sangat keras dan getas, membuat baja tersebut belum memenuhi spesifikasi sebagai baja pegas. Oleh karena itu, perlu adanya dilakukan proses pemanasan ulang (*tempering*). Sehingga kekuatannya menjadi naik, keuletannya tinggi dan juga kekerasannya memadai dalam penggunaannya sebagai baja pegas.

2.9 Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendor, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Rockwell*[6]

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P_1

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh ($P_1 + P$)

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P_1

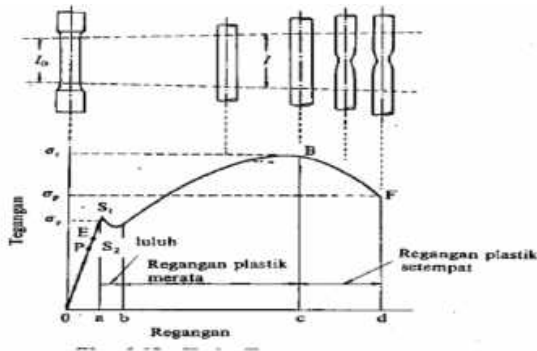
Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

2.10 Uji Tarik

Pada pengujian tarik dipakai benda uji standar yang dicekam pada sebuah mesin penguji, kemudian benda tersebut ditarik dengan kecepatan pembebanan tertentu.



Gambar 2.12 Kurva tegangan-regangan[6]

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 2.8. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%.

Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal benda uji

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana :

σ_u = Tegangan Tarik (kg/mm^2)

F_u = Beban Maksimal (kg)

A_o = Luas penampang mula dari penampang batang (mm^2)

Regangan dapat diperoleh dengan cara perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana :

ϵ = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

2.10.1 Istilah lain tentang interpretasi hasil uji tarik

A. Derajat Kelentingan (*resilience*)

Sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. (*modulus of resilience*) yang didefinisikan sebagai banyaknya energy yang diperlukan untuk meregangkan satu satuan volume bahan hingga sampai batas elastic.

$$U_R = \frac{1}{2} \sigma_{el} \cdot \epsilon_{el} = \sigma_{el}^2 / 2E$$

B. Derajat Ketangguhan (*toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus.

- Untuk bahan yang ulet (ductile) :

$$UT = \sigma_u \cdot \epsilon_f$$

atau

$$UT = \epsilon_f \cdot (\sigma_u + \sigma_y) / 2$$

- Untuk bahan yang getas (brittle) :

$$UT = 2/3 \sigma_u \cdot \epsilon_f$$

C. Kelenturan (*ductile*)

Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik.

Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu bahan dinyatakan getas (*brittle*).

$$D_o = \frac{A}{L} \times 100\% = \frac{L_1 - L}{L} \times 100\%$$

D. Kekakuan (stiffness)

Suatu bahan yang memiliki kekakuan tinggi bila mendapat beban (dalam batas elastiknya) akan mengalami deformasi elastik tetapi hanya sedikit saja. Kekakuan ditunjukkan oleh *modulus elastisitas* (Young's Modulus, E)

$$E = \sigma_{el} / \epsilon_{el}$$

2.10.2 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam

A. Batas Elastis σ_e (*Elastic Limit*)

Dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke semula. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permamen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005%.

B. Batas Proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih dapat ditolerir. Dalam prakteknya biasanya batas proporsional sama dengan nilai batas elastis.

C. Regangan Luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

D. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

E. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

F. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, .

G. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula.

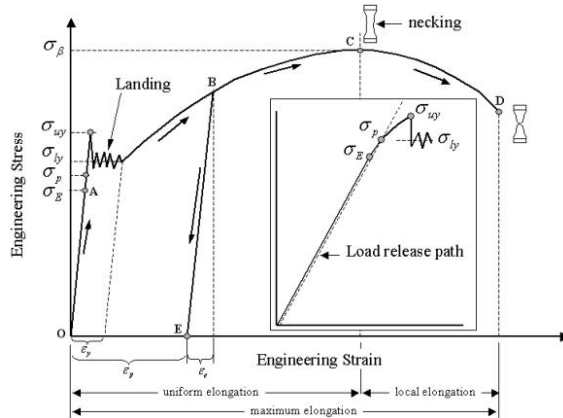
H. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

I. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

J. Kekuatan Patah (*Breaking Strength*)

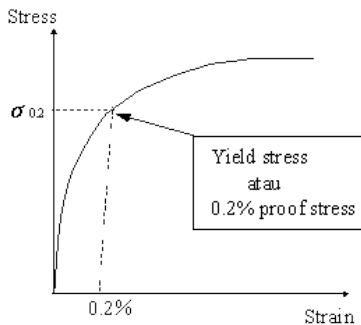


Gambar 2.13 Contoh data hasil uji tarik[6]

Ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.10.3 Tegangan Luluh Perubahan Elastis dan Plastis

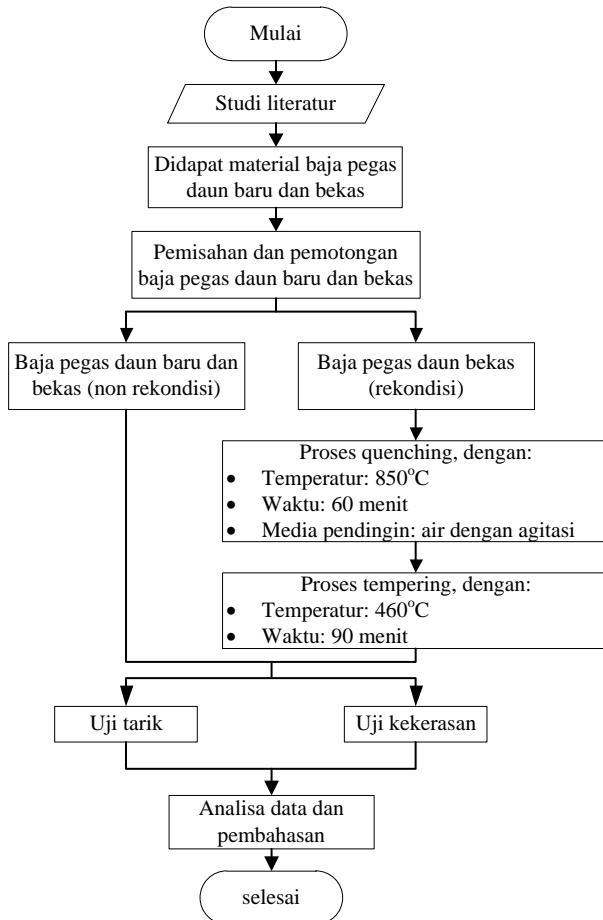
Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.



Gambar 2.14 Kurva Tegangan Luluh[6]

BAB III METODOLOGI

3.1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Metode yang digunakan dalam suatu analisa atau studi harus terstruktur dengan baik sehingga dapat dengan mudah menerangkan atau menjelaskan penelitian yang dilakukan. Proses dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini melalui beberapa tahap.

3.2 Studi Literatur

Pada studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai logam pegas daun.

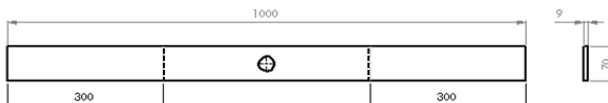
3.3 Material Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini adalah baja pegas daun bekas dan baja pegas baru SUP 9A. Baja pegas daun sering digunakan pada kendaraan bermotor roda empat. Pengambilan pegas daun baru beli di Jl. Kedungdoro. Untuk pegas daun bekas beli di Jl. Bagong ginayan.

Pegas daun baru memiliki dimensi panjang 1000 mm, lebar 70mm, tebal 9mm. Untuk pegas daun bekas didapatkan material yang hampir menyamai dimensi pegas daun baru.

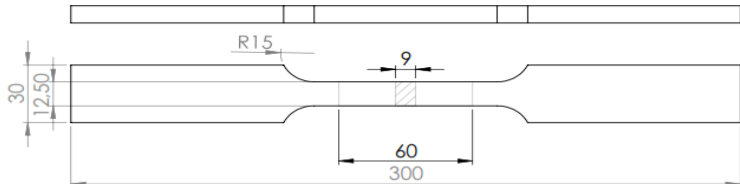


Gambar 3.2 spesimen pegas daun



Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Awal

Dari baja pegas diatas lalu dipotong beberapa begaian dengn ukuran yang telah ditentukan setelah itu dipotong lagi dengan bentuk spesimen uji tarik JIS Z 2201 14b. Jumlah spesimen yang dibentuk adalah 6 buah untuk pegas daun bekas dan 3 untuk pegas daun baru.



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201 14b

3.4 Proses *Quenching*

Proses *quenching* specimen dipanaskan dalam oven *Gotech GT/F* atau dapur pemanas. Spesimen tersebut diberi temperatur 850°C dengan *holding time* atau waktu penahanan selama 60 menit.

Tabel 3.1 Data Proses *Quenching*

Data Proses <i>Quenching</i> pada Pegas Daun SUP 9A Bekas	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Pemanasan	850°C
Waktu Penahanan	60 Menit
Laju Pemanasan	175°C/Jam
Media Pendingin	Air (Agitasi)
Volume Media Pendingin	20 Liter



Gambar 3.5 Oven dalam temperatur 850°C

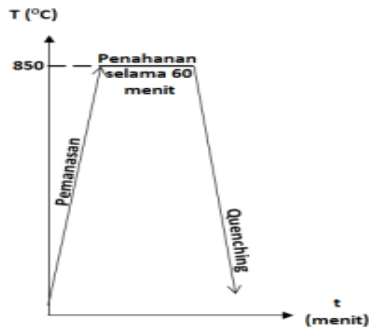


Gambar 3.6 Oven uji laku panas

Proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan media air (*water quenching*) yang disertai dengan agitasi selama proses pendinginan. Pencelupan dilakukan sampai temperature specimen uji dan media pendingin mendekati suhu kamar. Setelah proses *quenching*, maka dilanjutkan proses *tempering*.



Gambar 3.7 Media Pendinginan



Gambar 3.8 Skema proses *quenching*

3.5 Proses *Tempering*

Proses *tempering* baja pegas daun dilakukan setelah proses *quenching*, kemudian specimen dimasukkan kedalam oven atau dapur pemana suntuk proses *tempering* dengan menggunakan temperatur 460°C.



Gambar 3.9 Pemasukan Spesimen ke Dalam Oven



Gambar 3.10 Proses Tempering dengan Temperatur 460°C

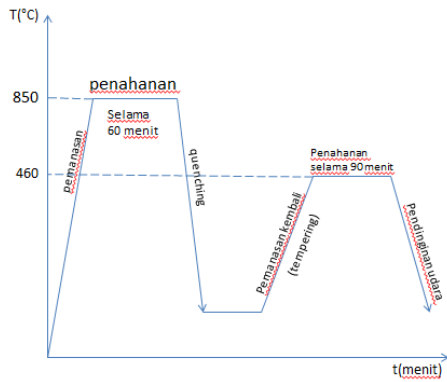
Pemanasan menggunakan *holding time* selama 90 menit dan kemudian didinginkan pada temperature ruangan.

Tabel 3.2Data proses *tempering*

Data Proses <i>Quenching</i> pada Pegas Daun SUP 9A Bekas	
Tempat	Oven / Furnace
TemperaturPemanasan	460°C
WaktuPenahanan	90Menit
LajuPemanasan	175°C/Jam
Media Pendingin	Udara
Temperatur Ruang	32°C

Tabel 3.3 Skema Proses *Tempering*

Spesimen	Temperatur Tempering	Waktu Penahanan
I	460	90 menit



Gambar 3.11 Skema Proses *Tempering*



Gambar 3.12 Pengambilan Spesimen dari Oven



Gambar 3.13 pendinginan Udara Setelah Proses *Tempering*

3.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji pada gambar 3.12. Angka kekerasan yang diamati adalah kekerasan *Rockwell* skala C, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang digunakan adalah intan dengan sudut 120° dan beban 150 Kp. Pengujian kekerasan dilakukan dengan cara memberikan 3 titik indentasi pada setiap specimen dari pegas daun baru, bekas, dan rekondisi



Gambar 3.14 letak titik indentasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang digunakan sebagai data pembandingan dari hasil proses laku panas dengan sebelum laku panas serta pegas dalam kondisi baru. Peralatan uji kekerasan yang digunakan adalah milik Laboratorium Metallurgi Jurusan D3 Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.15Alat uji kekerasan

3.7 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan berdasarkan standar pengujian JIS Z 2201. Mesin uji tarik yang digunakan adalah *Wolfert Tensile-Bending Testing Machine* untuk pengujian setelah proses *quench-temper*. Hasil dari pengujian berupa grafik $P-\Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji tarik *Wolfert*.

Pengujian tarik dilakukan pada setiap spesimen yang berjumlah 9 masing-masing spesimen yaitu 3 spesimen baja pegas daun baru, 3 baja pegas daun sebelum proses *quench-temper*, dan 3 baja pegas daun setelah proses *quench-temper*.

Pengujian tarik dilakukan pada benda kerja yang sudah dipotong seperti gambar 3.16b erikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.16Spesimen Tarik Sebelum Proses Quench-Temper
(a) dan Spesimen Uji iTarik Setelah Proses Quench-Temper(b)
dan Spesimen Uji Tarik Keadaan Baru



Gambar 3.17Mesin uji tarik

BAB IV ANALISA dan PEMBAHASAN

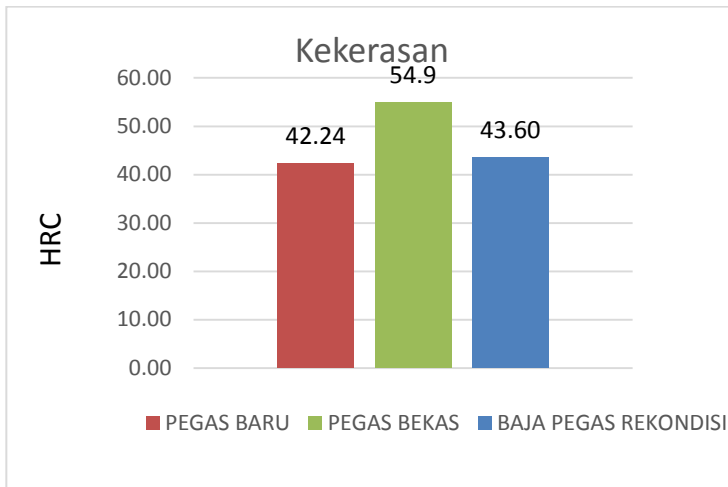
4.1 Analisa dan Pembahasan

Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan dan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik awal dan akhir dari spesimen yang sudah dilakukan proses *quench-temper* maupun yang tidak dilakukan proses *quench-temper*.

4.2 Uji Kekerasan

Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan *Rockwell* skala *C* rata-rata pada pegas daun (baru, bekas dan sesudah *quench-temper*)

spesimen	Pegas daun baru	Pegas daun bekas	pegas daun rekondisi
	HRC		
1	43,17	60,1	46.20
2	42,03	50,27	42.93
3	41,53	54,33	41.67
Rata-Rata	42,24	54,9	43.60



Gambar4.1 Grafik nilai kekerasan rata-rata pada pegas daun

Pengujian kekerasan pada pegas daun menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell C*. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen baja pegas daun.

Dari data tabel 4.1 dapat dilihat bahwa spesimen baja pegas daun baru mempunyai nilai kekerasan 42,24 HRC (392 HB) , pada spesimen baja pegas daun sebelum proses *quench-temper* mempunyai nilai kekerasan sebesar 54,9 HRC (558,3 HB), pada spesimen baja pegas daun setelah di rekondisimelalui proses *quench-temper* dengan temperatur 460°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 43.60 HRC (405,4 HB).

4.2.1 Pengaruh proses rekondisi *quench-temper* pada kekerasan baja pegas daun

Spesifikasi yang harus dimiliki baja pegas daun SUP 9A pada JIS G 4801 – 1984 harus memiliki kekerasan sebesar 363-

429 HB atau 39,1-45,7 HRC. Setelah dilakukan pengujian baja pegas material baru memiliki kekerasan 42,24 HRC (392 HB). Hal ini bias disebabkan oleh baja pegas material baru telah melewati proses laku panas yang baik sehingga sifat kekerasan yang baik. Sifat kekerasan yang dimiliki juga dapat dikarenakan baja pegas baru belum digunakan sehingga tidak menerima beban berulang yang melewati batas elastisnya.

Berbeda dengan baja pegas daun material bekas baja ini memiliki kekerasan yang sangat tinggi diatas standar baja pegas SUP 9A yaitu sebesar 54,9 HRC (558,3 HB). Kekerasan yang tinggi ini disebabkan karena pembebanan berulang yang melewati batas *yield* sehingga baja pegas bekas memiliki tegangan sisa yang disebut *strain hardening*. *Strain hardening* ini yang menyebabkan baja pegas memiliki kekerasan yang sangat tinggi. Jika baja pegas terus digunakan baja akan terjadi kerusakan salah satunya adalah keretakan yang bias disebut *micro crack*.

Setelah dilakukan proses rekondisi didapat bahwa kekerasan menurun menjadi 43.60 HRC (405,4 HB)..kekerasan yang dimiliki tersebut sesuai dengan standar SUP 9A yang ada pada JIS G 4801 – 1984. Turunya kekerasan Hal ini menunjukkan bahwa proses rekondisi dapat menghilangkan tegangan sisa.

Apabila pada saat terjadi *strain hardening* terbentuk *micro crack* akan berpengaruh pada kekuatan tarik baja pegas.

4.3 Uji Tarik

4.3.1 Pengujian tarik pegas daun baru

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik maksimum (*ultimate strength*) dari material JIS SUP 9A pada baja pegas daun baru.



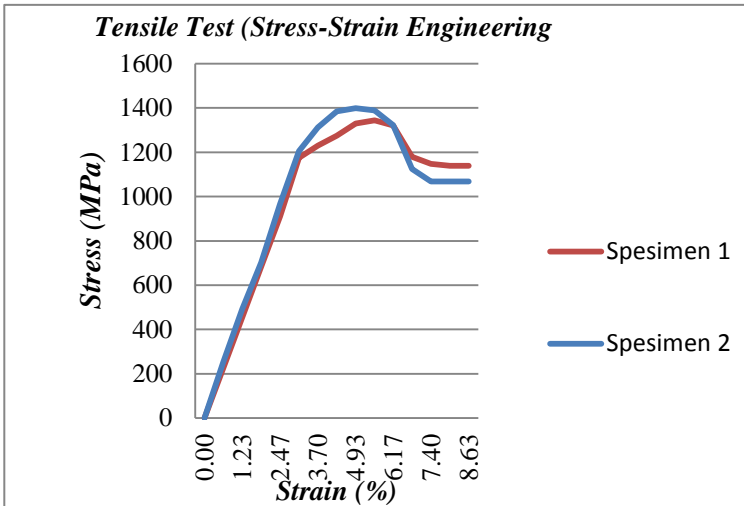
Gambar4.2 Spesimen hasil uji tarik pegas daun baru

Tabel 4.2 Data uji tarik pada pegas daun baru

No	Tebal	Lebar	A_0	L_0	L_1	Fm	Fy
	mm	Mm	mm^2	mm	mm	kN	kN
1	8.9	12.5	112.5	60.3	65.8	151	136
2	9	12.5	112.5	60	65	160	146

Tabel 4.3 Hasil dari pengujian tarik pegas daun baru

Spesimen	Sifat Mekanik Awal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	1217,97	1344
2	1297,77	1399,37
3	-	-
Rata-Rata	1257.87	1371.68



Gambar4.3 Grafik tegangan-regangan material baja pegas daun baru

Dari hasil pengujian tarik material baja pegas baru didapatkan sifat mekanik baja pegas daun baru (tabel 4.3). Pada spesimen 1 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1217.97 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1344 MPa. Pada spesimen 2 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1297.77 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1399.37 MPa. Sedangkan spesimen3 mengalami kegagalan karena spesimen putus pada lasan yang digunakan untuk stopper, sehingga data dari spesimen tersebut tidak dibahas.

Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1257.87 MPa, kekuatan tarik(*ultimate strength*) sebesar 1371.68 MPa.

4.3.2 Pengujian tarik pegas daun bekas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan *yield*, kekuatan tarik maksimum dan elongasi dari material JIS SUP 9A pada baja pegas daun bekas sebelum *quench-temper*.



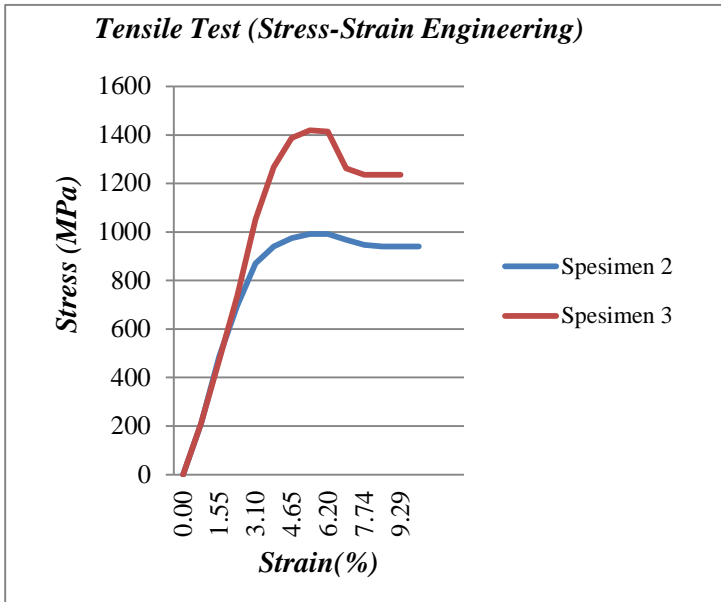
Gambar4.4Spesimen hasil uji tarik bajapegasbekas

Tabel 4.4 Data uji tarik pada baja pegas bekas

No	Tebal	Lebar	A ₀	L ₀	L ₁	Fm	Fy
	mm	Mm	mm ²	mm	Mm	kN	kN
2	8.8	12.5	110	59.4	65.38	113	99
3	8.8	12.5	110	59.7	64.71	156	149

Tabel 4.5 Hasil dari pengujian tarik pegas daun bekas

Spesimen	Sifat Mekanik Awal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	-	-
2	904.54	1027.27
3	1355	1420
Rata-Rata	1129.77	1223.63



Gambar4.5 Grafik *tegangan-regangan* material baja pegas daun bekas

Dari hasil pengujian tarik material baja pegas bekas sebelum proses *quench-tempe* r didapatkan sifat mekanik seperti pada tabel 4.5. Pada spesimen 2 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 904.54 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1027.27 MPa. Untuk spesimen 3 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1355 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1420 MPa. Sedangkan pada spesimen 1 mengalami kegagalan penarikan dikarenakan spesimen putus pada lasan yang digunakan sebagai stopper, sehingga data dari spesimen 1 tidak dibahas.

Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar

1129.77 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1223.63 MPa.

4.3.3 Pengujian tarik pegas daun bekassesudahrekondisi

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan yield dan kekuatan tarik maksimum dari material JIS SUP 9A pada gambar 4.1 tabel 4.4 adalah data yang hasil dari material baja pegas setelah di quench-temper pada temperatur tempering 460°C.



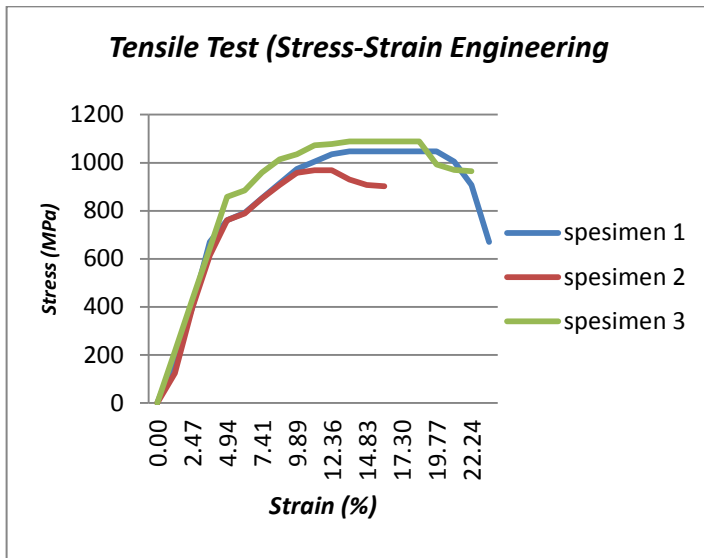
Gambar 4.6 Spesimen uji tarik material baja pegas daun rekondisi

Tabel 4.6 Data uji tarik baja pegas rekondisi

No	Tebal	Lebar	A0	L0	L1	Fm	Fy
	mm	mm	mm ²	mm	mm	kN	kN
1	8.8	12.5	110	61.5	75.99	115	98.5
2	8.8	12.5	110	60.2	67.6	106	99.5
3	8.8	12.5	110	60.9	71.27	118	102

Tabel 4.7 hasil uji tarik material baja pegas rekondisi

Spesimen	SifatMekanikAwal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	895.45	1049.45
2	904.54	965.90
3	927.27	1075.09
Rata-rata	909.09	1030.15



Gambar4.7 Grafik *tegangan-regangan* material baja pegas daun rekondisi

Dari hasil pengujian tarik material baja pegas bekas setelah direkondisi dengan proses *quench-temper* dengan temperatur 460°C di dapatkan sifat mekanik seperti pada tabel

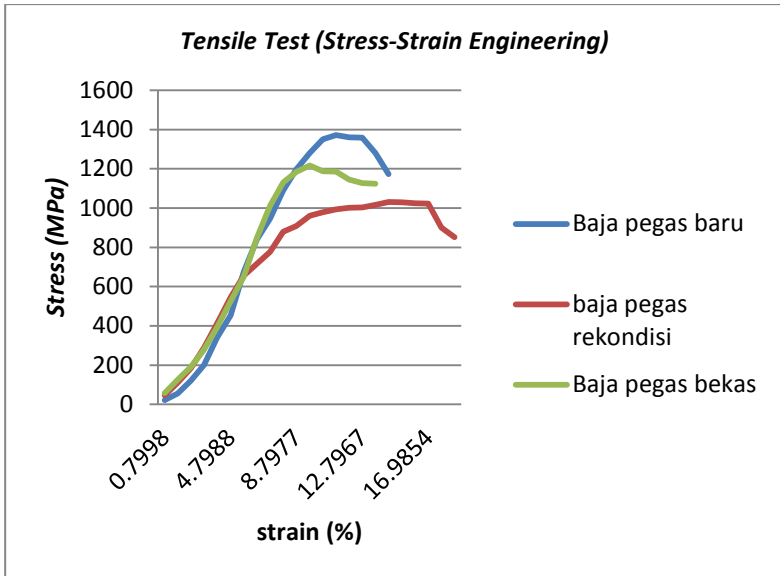
4.5. Pada spesimen 1 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 895.45 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1049.45 MPa. Pada spesimen 2 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 904.54 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 965.90 MPa. Untuk spesimen 3 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 927.27 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1075.09 MPa. Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 909.09 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1030.15 MPa.

4.3.4 Pengaruh Proses rekondisi pada Kekuatan Tarik Baja Pegas Daun

Tabel 4.8 hasil rata-rata uji tarik material baja pegas

Specimen	sifat mekanik	
	yield strenght	ultimate strenght
	(Mpa)	(Mpa)
Baja pegasbaru	1257.87	1371.68
Baja pegasbekas	1129.77	1223.63
Baja pegasrekondisi	909.09	1030.15

Dan selanjutnya dari rata-rata pengujian tarik didapatkan grafik seperti berikut.



Gambar4.8 Grafik garis hasil rata-rata pengujian tarik

Dari tabel 4.8 dan grafik 4.8 diatas dapat dilihat memiliki kekuatan luluh sebesar 1257.87 Mpa dan kekuatan tarik sebesar 1371.68 Mpa. Sifat mekanik pada baja pegas daun material baru masih baik dan masih sesuai dengan standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984. Kisaran yang ada pada standar adalah kekuatan luluh sebesar 1079 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1226 MPa. Hal ini dikarenakan baja pegas daun material baru belum pernah terkena pembebanan apapun dan proses perlakuan panas yang diberikan sesuai.

Sedangkan baja pegas daun material bekas yang sudah pernah digunakan sehingga mengalami penurunan kekuatan. Kekuatan yang dimiliki baja pegas daun material bekas adalah kekuatan luluh sebesar 1129.77 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1223.63 MPa. Penurunan kualitas ini disebabkan oleh pembebanan berulang melewati batas elastis

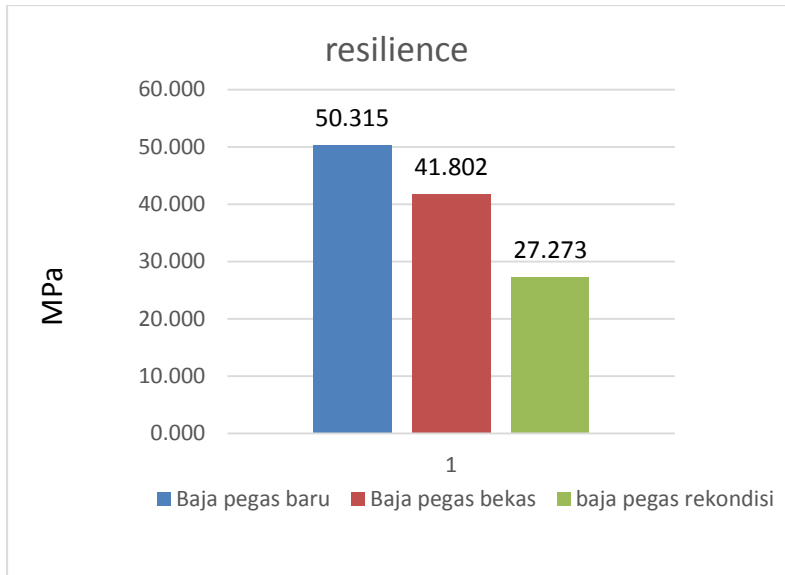
yang terjadi pada baja pegas sehingga terjadi tegangan sisa (strain hardening). Strain hardening yang terjadi terus diberikan pembebanan akan berakibat timbulnya micro crack. micro crack ini yang menyebabkan kanturunya kualitas baja pegas.

Setelah itu pegas material baja pegas material pegas direkondisi dengan metode Quench-Temper. Dengan metode ini diharapkan dapat mengembalikan kekuatan luluh dan kekuatan tarik baja pegas daun material bekas. Namun hasil yang diperoleh kekuatan luluh dan kekuatan tarik tidak memenuhi standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984. Kekuatan yang dimiliki baja pegas daun setelah direkondisi adalah kekuatan luluh sebesar 909.09 MPa dan kekuatan tarik 1030.15 MPa. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas yang dilakukan hanya dapat menghilangkan tegangan sisa (strain hardening), tetapi tidak dapat menghilangkan micro crack.

Untuk melihat apakah baja pegas daun layak digunakan atau tidak dapat dilihat dari *resilience* dibawah ini.

Tabel 4.9 Data *Resilience* Pada Baja Pegas

spesimen	Regangan	Tegangan Yield	<i>resilience</i>
	mm/mm	MPa	MPa
Baja pegasbaru	0.08	1257.878	50.3151
Baja pegasbekas	0.074	1129.773	41.8016
bajapegasrekondisi	0.060	909.091	27.2727



Gambar4.9 Grafik *Resilience* Pada Baja Pegas

Dari tabel 4.9 dan grafik 4.9 di atas dapat dilihat bahwa penurunan kualitas yang terjadi dari pegas daun material baru sampai pegas daun setelah direkondisi. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa baja pegas bekas dan baja pegas yang sudah direkondisi tidak layak digunakan karena lebih mudah terkena deformasi plastis.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada proses *quench-temper* dan pengaruh terhadap sifat mekanik baja pegas daun, dapat disimpulkan antara lain :

1. Proses rekondisi dapat mengembalikan sifat kekerasan baja pegas yang sebesar 43.6 HRC. Sehingga sesuai dengan standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984 sebesar 39,1-45,7 HRC.
2. Setelah proses rekondisi tidak dapat mengembalikan sifat mekanik, yang mendapat kekuatan luluh 909.09 MPa dan kekuatan tarik 1030.15 MPa. Seharusnya pada standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984 kekuatan luluh 1079 MPa dan kekuatan tarik 1226 MPa.
3. Setelah proses rekondisi baja pegas menjadi lebih mudah mengalami deformasi plastis disbanding baja pegas baru.
4. Proses rekondisi tidak dapat mengembalikan sifat mekanik seutuhnya.

5.2 Saran

Saran-saran yang berkenan dengan proses *quench-temper* dalam rekondisi material baja pegas daun yaitu :

1. Perlu adanya penelitian lanjutan pada rekondisi baja pegas daun dengan uji lelah, sehingga bias didapat rekomendasi lebih lanjut.
2. Pada penelitian ini perlu diadakan pengujian metalografi agar lebih akurat data yang didapat.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook. 1991. *Atlas of Time-Temperature Diagram for Irons and Steels*. USA: ASM Internasional.
- [2] Callister, William D., 2007, "*Materials Science and Engineering an Introduction seventh edition*", The University of Utah, USA.
- [3] JIS Handbook, 1998, "*Ferrous Materials and Metallurgy II*", Japanese Standard Association, Tokyo.
- [4] Kotadiya, Amit., 2016 "*analysis and size optimization of composite leaf spring using fea*", Government Polytechnic.
- [5] Murtiono, Arief., 2012, "*Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*", Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, USU, Sumatera Utara.
- [6] Permana Putra, Daniel., 2009, "*Rekondisi Material Dengan Proses Quench-Temper dan Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanis Baja Pegas Daun JIS SUP 9A*", Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
- [7] Rizal, Reza, BI., 2016, "*Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Pada Perlakuan Panas Pengerasan Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Material Baja Leaf Spring*", Tugas Akhir D3 Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
- [8] Rakasiwi, G, Cyndie., 2016, "*analisis pengaruh variasi temperatur dan media pendingin proses hardening pada sifat kekerasan crossbar sebagai solusi kegagalan crossbar pt*."

semen indonesia tbk.”, Jurusan Teknik Material dan Material.

- [9] Setiawan, Indra., Sakti Nur, Muhamad., “*Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 Pada Pegas Daun Dengan Proses Perlakuan Panas*”, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [10] Yamada, Y., 2007,”*Material For Spring*”, Springer, New York.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Kekerasan dalam HB

Approximate Leeb (Type D) Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C Hardness Range)

<u>Leeb Hardness Type D</u> Impact Device (HDL)	<u>Rockwell C Hardness</u> 150 kgf (HRC)	<u>Vickers Hardness</u> 10mm Ball 3000kgf (HBS)	<u>Brinell Hardness</u> 10mm Steel Ball 300kgf (HBS)
828	62	762	(721)
819	61	737	(699)
809	60	711	(675)
800	59	688	(654)
791	58	667	634
782	57	645	614
773	56	625	595
764	55	605	577
755	54	586	559
746	53	568	542
737	52	550	526
729	51	534	511
720	50	517	496
712	49	503	482
703	48	487	467
695	47	473	455
687	46	460	442
679	45	447	430
671	44	434	416
663	43	422	407
655	42	410	395
647	41	398	385
640	40	388	375
632	39	377	365
625	38	368	356
618	37	358	347
611	36	349	338
603	35	339	328
596	34	330	320
590	33	323	313
583	32	314	305
576	31	306	297
570	30	299	291
563	29	291	283
557	28	284	276
551	27	277	270
545	26	271	264
539	25	264	258
533	24	258	252
527	23	251	246
521	22	245	240
516	21	240	235
510	20	234	229

References:

Hardness Testing ASM International Metals Park OH 1987

ASTM Designation E140-12b

ASTM Designation E29

ASTM Designation E10

LAMPIRAN 2. Baja Pegas Daun Rekondisi Spesimen 1

A0		110	L0	61.5
No.	$\Delta L(mm)$	F (KN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	0	0	0	0.00
2	0.51	4.4	40.36	0.84
3	1.03	6.6	60.54	1.68
4	1.55	8.8	80.72	2.52
5	2.07	13.3	121.09	3.36
6	2.58	19.9	181.63	4.20
7	3.10	26.6	242.18	5.04
8	3.62	35.5	322.90	5.89
9	4.14	44.4	403.63	6.73
10	4.65	57.7	524.72	7.57
11	5.17	75.4	686.18	8.41
12	5.69	88.8	807.27	9.25
13	6.21	98.5	895.45	10.09
14	6.72	99.9	908.18	10.93
15	7.24	104.3	948.54	11.78
16	7.76	108.7	988.90	12.62
17	8.28	111	1009.09	13.46
19	8.79	113.2	1029.27	14.30
20	9.31	114.5	1041.38	15.14
21	9.83	115.4	1049.45	15.98
22	10.35	115.4	1049.45	16.82
23	10.86	115.4	1049.45	17.67
24	11.38	115.4	1049.45	18.51
25	11.90	115.4	1049.45	19.35
26	12.42	115.4	1049.45	20.19
27	12.93	114.5	1041.38	21.03
28	13.45	111	1009.09	21.87
29	13.97	102.1	928.36	22.72
30	14.49	84.3	766.90	23.56

LAMPIRAN 3 . Baja Pegas Daun Rekondisi Spesimen 2

A0		110	L0	60.2
No.	$\Delta L(mm)$	F (KN)	Tegangan(MPa)	Regangan (%)
0	0	0	0	0.00
1	0.47	2.1	19.31	0.78
2	0.94	12.7	115.90	1.56
3	1.41	21.2	193.18	2.34
4	1.88	38.2	347.72	3.12
5	2.35	55.2	502.27	3.90
6	2.82	76.5	695.45	4.69
7	3.29	88.8	807.50	5.47
8	3.76	91.3	830.68	6.25
9	4.23	95.6	869.31	7.03
10	4.70	99.5	904.5	7.81
11	5.17	102.4	931.13	8.59
12	5.64	105.8	962.04	9.38
13	6.11	106.2	965.90	10.16
14	6.58	106.2	965.90	10.94
15	7.05	104.1	946.59	11.72
16	7.52	102	927.27	12.50
17	8.00	101.1	919.54	13.28

LAMPIRAN 4. Baja Pegas Daun Rekondisi Spesimen 3

A0		110	L0	60.2
No.	$\Delta L(mm)$	F (KN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	0	0	0	0.00
2	0.47	8.7	79.63	0.77
3	0.94	17.5	159.27	1.55
4	1.41	30.6	278.72	2.32
5	1.89	43.8	398.18	3.10
6	2.36	60.8	553.47	3.88
7	2.83	76.6	696.81	4.65
8	3.30	91.9	836.18	5.43
9	3.78	100.7	915.81	6.21
10	4.25	102	927.2	6.98
11	4.72	109.5	995.45	7.76
12	5.19	112.1	1019.34	8.53
13	5.67	114.3	1039.25	9.31
14	6.14	116.9	1063.14	10.09
15	6.61	117.3	1067.12	10.86
16	7.09	117.8	1071.10	11.64
17	7.56	118.2	1075.09	12.41
18	8.03	118.2	1075.09	13.19
19	8.50	118.2	1075.09	13.97
20	8.98	118.2	1075.09	14.74
21	9.45	112.5	1023.32	15.52
22	9.92	109.5	995.45	16.30
23	10.39	109.0	991.47	17.07

LAMPIRAN 6. Baja Pegas Daun Baru Spesimen 2

A0		112.5	L0	60
No.	ΔL (mm)	F (KN)	Tegangan	Regangan
			(MPa)	(%)
	0	0	0	0
1	0.28	0.4	3.521	0.5
2	0.56	4.4	38.73	0.9
3	0.84	14.1	123.23	1.4
4	1.12	23.0	200.69	1.9
5	1.4	45.3	394.33	2.3
6	1.68	72.4	630.23	2.8
7	1.96	99.2	862.61	3.3
8	2.24	132.8	1154.84	3.7
9	2.52	141	1217.97	4.2
10	2.8	148.5	1297.77	4.6
11	3.08	153.4	1334.41	5.1
12	3.36	160.9	1399.37	5.6
13	3.64	157.5	1369.61	6.0
14	3.92	153.8	1337.93	6.5
15	4.2	149.4	1299.20	7.0
16	4.48	143.7	1249.90	7.4
17	4.76	129.5	1126.67	7.9
18	5.04	126.3	1098.51	8.4
19	5.32	125.5	1091.47	8.8

LAMPIRAN 5. Baja Pegas Daun Baru Spesimen 1

A0		112.5	L0	60.3
No.	$\Delta L(mm)$	$F (KN)$	<i>Tegangan</i>	<i>Regangan</i>
			(MPa)	(%)
1	0	0	0	0
2	0.227	3.6	32	0.4
3	0.454	7.6	67.55	0.8
4	0.681	12.4	110.22	1.1
5	0.908	19.2	170.66	1.5
6	1.135	27.6	245.33	1.9
7	1.362	37.2	330.66	2.3
8	1.589	47.6	423.11	2.6
9	1.816	59.6	529.77	3
10	2.043	79.2	704.00	3.4
11	2.27	104.8	931.55	3.8
12	2.497	124.8	1109.33	4.2
13	2.724	130	1155.55	4.5
14	2.951	136	1217.97	4.9
15	3.178	138	1226.66	5.3
16	3.405	144	1280.00	5.7
17	3.632	146	1297.77	6.1
18	3.859	148.4	1319.11	6.4
19	4.086	151.2	1344.00	6.8
20	4.313	148.4	1319.11	7.2
21	4.54	139.6	1240.88	7.6
22	4.767	132.4	1176.88	7.9
23	4.994	132	1173.33	8.3

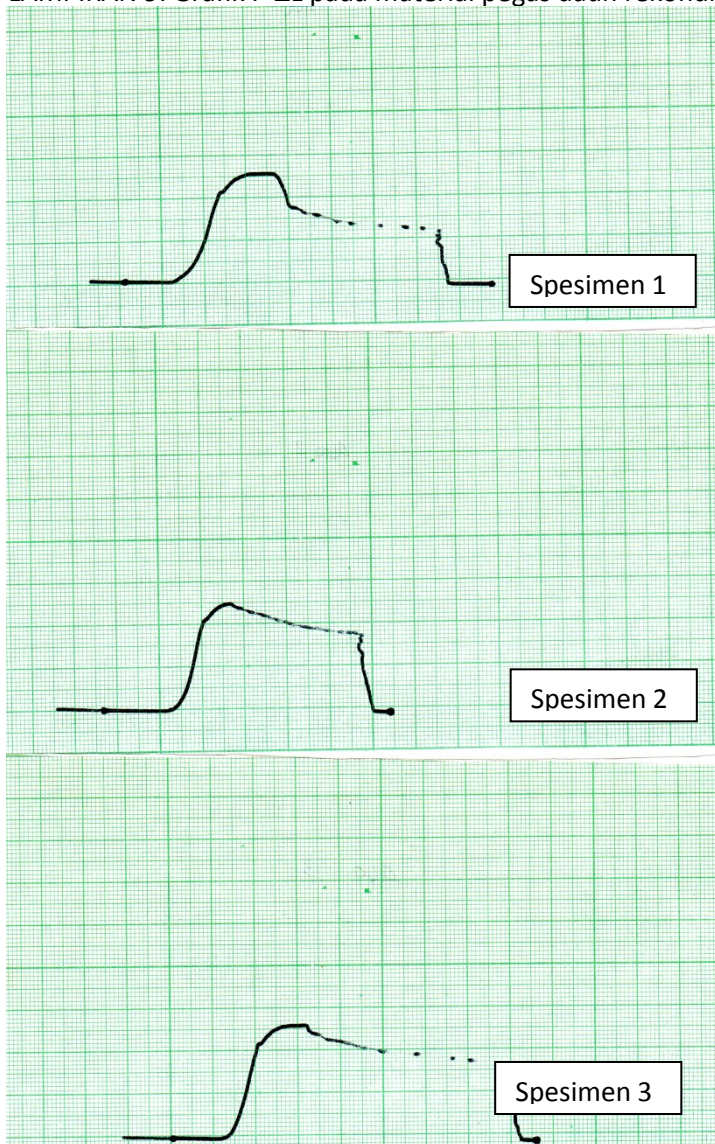
LAMPIRAN 7. Baja Pegas Daun Bekas Spesimen 2

A0		110	L0	59.4
No	ΔL (mm)	F (kN)	Tegangan	Regangan
			(MPa)	(%)
1	0	0	0	0
2	0.25	0.6	6.16	0.42
3	0.5	0.9	8.21	0.84
4	0.75	1.5	14.38	1.26
5	1	2.2	20.54	1.68
6	1.25	4.5	41.09	2.10
7	1.5	6.1	55.47	2.52
8	1.75	8.5	78.07	2.94
9	2	11.3	102.72	3.36
10	2.25	15.8	143.81	3.78
11	2.5	22.6	205.45	4.20
12	2.75	31.6	287.63	4.62
13	3	45.2	410.90	5.05
14	3.25	58.7	534.18	5.47
15	3.5	74.5	678	5.89
16	3.75	99.4	904.54	6.31
17	4	103.9	945.09	6.73
18	4.25	108.4	986.18	7.15
19	4.5	110.7	1006.72	7.57
20	4.75	111.8	1017	7.99
21	5	113	1027.27	8.41
22	5.25	113	1027.27	8.83
23	5.5	108.4	986.18	9.25
24	5.75	108.4	986.18	9.68
25	6	108.48	986.18	10.10

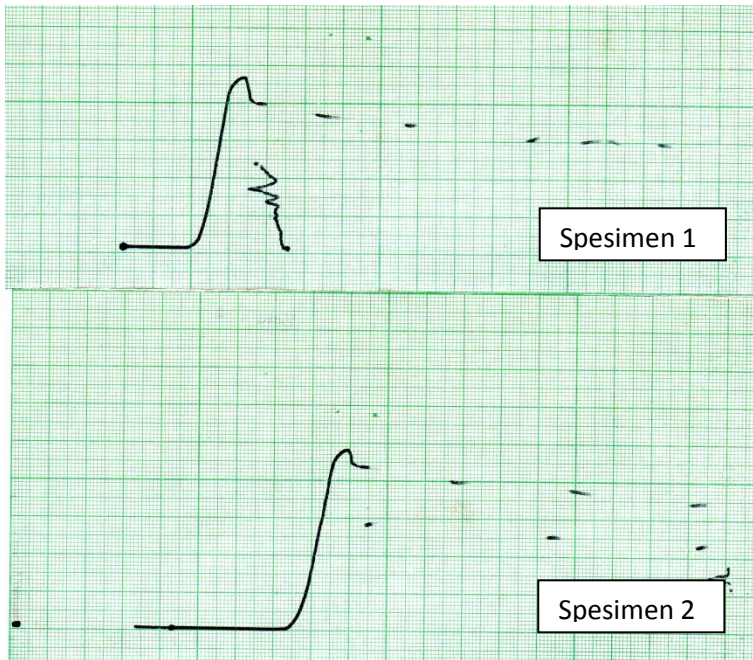
LAMPIRAN 8. Baja Pegas Daun Bekas Spesimen 3

A0		110	L0	59.4
No	ΔL (mm)	F (KN)	Tegangan	Regangan
			(MPa)	(%)
1	0	0	0	0
2	0.25	1.7	16.13	0.42
3	0.50	8.8	80.68	0.83
4	0.75	17.7	161.36	1.25
5	1.0	26.6	242.04	1.67
6	1.25	41.8	380.81	2.09
7	1.50	74.5	677.72	2.51
8	1.75	95.8	871.36	2.93
9	2.00	117.1	1065	3.35
10	2.25	136.6	1242.50	3.77
11	2.50	149	1355.00	4.19
12	2.75	154.42	1403.86	4.61
13	3.00	156.2	1420.00	5.03
14	3.25	155.4	1413.54	5.45
15	3.50	145.5	1323.18	5.87
16	3.75	144.1	1310.27	6.29
17	4.00	144.1	1310.27	6.71
18	4.25	144.1	1310.27	7.13
19	4.50	144.1	1310.27	7.55
20	4.75	144.1	1310.27	7.97
21	5.01	144.1	1310.27	8.39

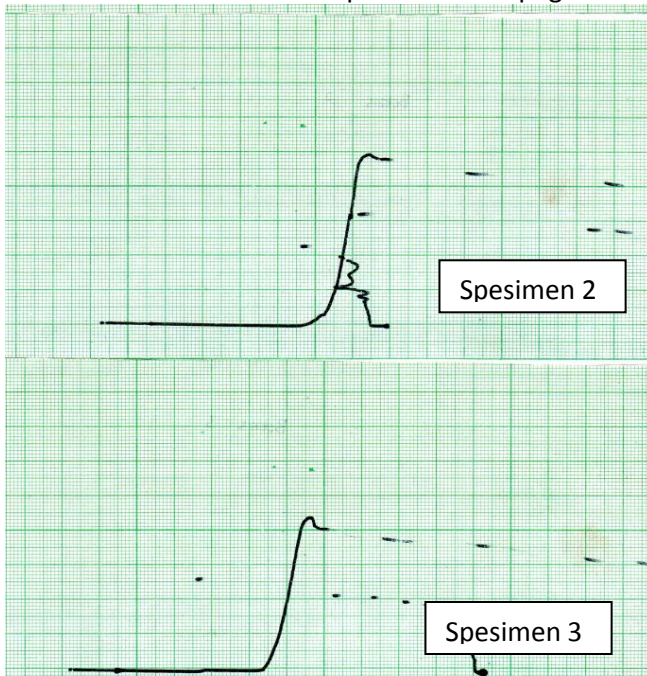
LAMPIRAN 9. Grafik F- Δ L pada material pegas daun rekondisi



LAMPIRAN 10. Grafik $F-\Delta L$ pada material pegas daun baru



LAMPIRAN 11. Grafik F- Δ L pada material pegas daun bekas



LAMPIRAN 12. Data hasil uji kekerasan

Spesimen		Titik Indentasi			Rata-Rata
Kondisi	No.	1	2	3	
Baru	1	42.3	44.1	43.1	43.17
	2	41.6	42	42.5	42.03
	3	40.1	41.6	42.9	41.53
	Rata-rata Keseluruhan				42.24
Bekas	1	59	60.3	61	60.1
	2	53	45.5	52.3	50.27
	3	57	54.5	51.5	54.33
	Rata-rata Keseluruhan				54.9
Rekondisi	1	46.4	46.5	45.7	46.20
	2	42.3	43.5	43	42.93
	3	42	41.5	41.5	41.67
	Rata-rata Keseluruhan				43.60

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir pada tanggal 2 Agustus 1995 di Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Pucang 1 Sidoarjo, SMPN 1 Sidoarjo dan SMAN 3 Sidoarjo. Setelah itu pada tahun 2014 penulis meneruskan pendidikan pada tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif mengikuti Steering Komite (SK) HMDM Kaderisasi 2015, Himpunan Mahasiswa D3 Teknik mesin FTI-ITS sebagai Staff departemen PSDM, BEM ITS Berani sebagai Staff PSDM, BEM ITS Wahana Juang sebagai dirjen pengawalan dan penulis juga aktif di tim mobil Ethanol BASUDEWO sebagai anggota divisi sponsorship. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan yang ada di ITS antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI), LKMM TD, LKMM TM. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: istiqlalsanatu77@gmail.com